

# RECONSTRUCCIÓN “MODULO D” APARCAMIENTO MADRID BARAJAS T-4.

**Hugo CORRES PEIRETTI**

Dr. Ingeniero de Caminos.

FHECOR Ingenieros Consultores.

Presidente

[fhecor@fhecor.es](mailto:fhecor@fhecor.es)

**Eduardo ROMERO REY**

Ingeniero de Caminos.

FHECOR Ingenieros Consultores.

Jefe del Departamento Edificación

[err@fhecor.es](mailto:err@fhecor.es)

## Resumen

En este artículo se describen los daños producidos a la estructura del aparcamiento de la terminal T4 de Barajas, tras el atentado del 2006. Se describen las zonas y elementos que se vieron afectados, y el tipo de daños que se detectaron. Tras analizar esa información se explica como se produjo el derrumbamiento y los modos de fallos que se observaron en la estructura.

Inmediatamente después de la explosión empiezan las labores de desescombro y de demolición de los elementos afectados. Dependiendo de las zonas y el tipo de elementos se emplearon diversa maquinaria y distintas metodologías. Incluso para zonas singulares fue necesario escribir un procedimiento específico de demolición que minimizara los efectos sobre la estructura existente.

También se explica los criterios, comprobaciones y procedimientos de cálculos que se emplearon para la redacción del proyecto de reconstrucción. Se hace especial hincapié en las comprobaciones y medidas adoptadas para restituir la conexión de los pilares con la cimentación existente. Este análisis permitió conservar la solera y las zapatas, que no habían sufrido daño, y recortar los plazos de ejecución.

**Palabras Clave:** Reconstrucción, demolición, reticular, actos ilícitos, conservación zapatas

## 1. Introducción.

Tras el lamentable atentado producido en 30/12/2006 en el aparcamiento de la terminal T-4 del Aeropuerto de Madrid – Barajas, se hizo necesaria una rápida actuación para evaluar los daños en los elementos estructurales más importantes del aeropuerto y las medidas a adoptar para facilitar las labores de desescombro, fundamentales en esos momentos.

En los días siguientes se hizo una revisión de toda la estructura, tanto del aparcamiento como de las zonas colindantes, para determinar el nivel de daños de los distintos elementos y adoptar las medidas necesarias para realizar las labores de desescombro de forma segura. También se redacta procedimientos de demolición y de retirada de escombros para las zonas más singulares y comprometidas por su estado o repercusión.

A la vez que se trabaja en la demolición de las zonas afectadas, se realiza una toma de datos de los elementos dudosos, que sirven como datos de partida para la redacción del proyecto de reconstrucción. Este se pretende desarrollar mientras se hace la demolición para poder empezar la ejecución una vez acabada esta y de esta forma minimizar los plazos de la reconstrucción.

FHECOR Ingenieros Consultores, autor del proyecto original, es el designado para la redacción de los informes de peritaje de la estructura y del proyecto de reconstrucción y Dragados la empresa adjudicataria de las obras.

## 2. Descripción general de la estructura del aparcamiento.

El aparcamiento de la terminal T4 de Barajas, está compuesta por 6 módulos, (A, B, C, D, E y F), compuesto por cinco plantas para estacionamiento, niveles 0 a 4, más una cubierta ecológica.

La estructura vertical está compuesta por pilares circulares de hormigón armado de  $\varnothing$  0.50 m, excepto los más próximos a la junta en planta baja que son de  $\varnothing$  0.60 m, en una cuadrícula de 8.00 x 8.00 m<sup>2</sup>. La estructura horizontal se resolvió mediante forjado reticular con casetón recuperable de 30+8 cm, con un intereje de 80 cm y un ancho de nervio de 12 cm. La dimensión de los ábacos macizados es de 3.20 x 3.20, lo que supone un quinto de la luz de 8.0 m.

En cuanto a la cimentación es directa mediante zapatas aisladas trabajando a 4 kg/cm<sup>2</sup>.

La dimensión del módulo es de 112 x 80 m<sup>2</sup>, sin juntas. Entre módulos se disponen juntas de dilatación en el centro de vano, mediante pasadores de cortante que compatibilizan los desplazamientos verticales y permiten movimientos perpendiculares a la junta.

El acceso de vehículos, se realiza por unas rampas elípticas de hormigón armado con vigas peraltadas o descolgadas, apoyadas en pilares. Entre estas rampas y el aparcamiento se disponen juntas de dilatación mediante conectadores que permiten el apoyo de la meseta de las rampas sobre el zuncho de borde del aparcamiento.

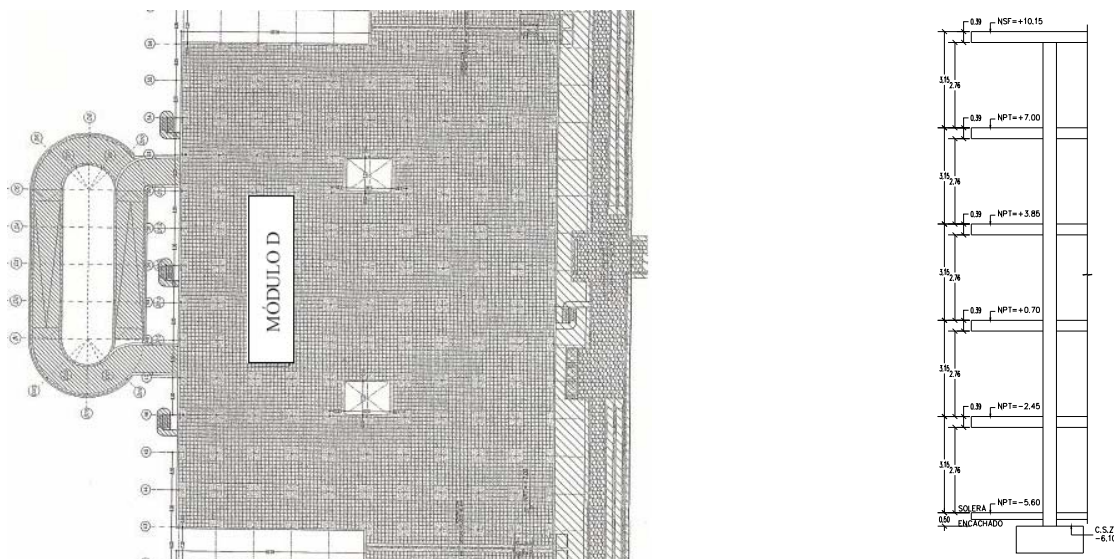


Fig. 1. Izquierda: Planta general del módulo D

Derecha. Sección esquemática del aparcamiento.

Para el tránsito peatonal, se disponen tres escaleras metálicas en el lado de la rampa y una escalera metálica y un ascensor en el lado de la terminal.

La conexión entre el aparcamiento y la terminal, se realiza mediante una pasarela metálica paralela a los módulos y que se conectan con estos, por los ascensores y escaleras metálicas. La conexión a la terminal se materializa mediante dos pasarelas perpendiculares a la anterior.

## 3. Daños producidos.

En el módulo D, estaba situado el explosivo y fue por tanto el más afectado por esta. Tras la explosión aproximadamente el 70 % del modulo se derrumbó como un castillo de naipes quedando los forjados literalmente unos sobre otro.

Las zonas más alejadas a la explosión sufrieron el tiro de los forjados al desplomarse, arrastrando con ellos a pilares y forjados, produciendo en algunos casos forjados inclinados ensartados en los pilares y en otras forjados literalmente colgados de cubierta.

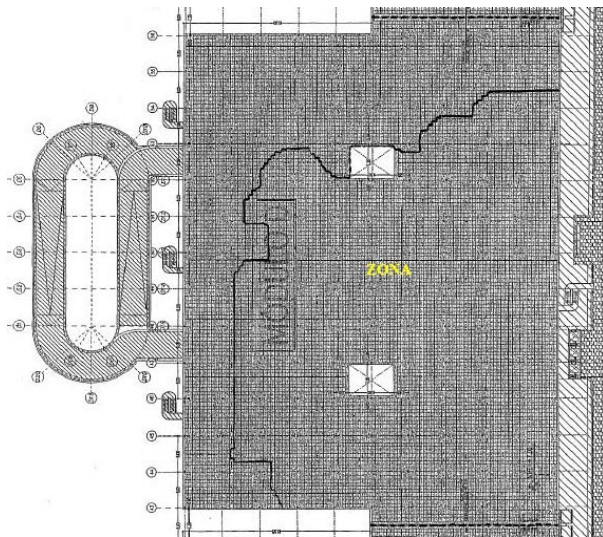


Fig. 2. Izquierda: Zona de forjado hundida en techo de planta 1.



Derecha. Vista general de la zona derrumbada.

La rotura de la zona central se produjo, fundamentalmente en la conexión del forjado con los pilares, debido a las cargas verticales en ambas direcciones (ascendente y descendente), provocada por la onda expansiva. Al romper la conexión, se derrumba el forjado sobre el inferior produciéndose un efecto cascada.

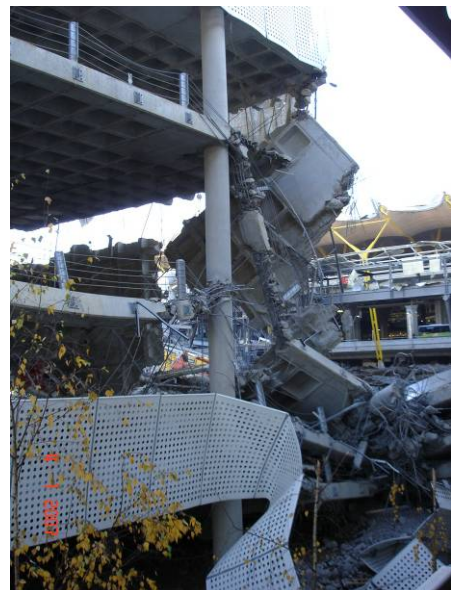
Según nos alejamos, la onda expansiva produjo menos daños a pilares y forjados, pero el derrumbe de la zona central produjo un tiro horizontal y vertical, que causó graves daños en estos elementos.

Estos daños fueron muy diversos:

- Rotura por cortante de los nervios del reticular
- Punzonamiento de pilares
- Fisuras en cara superior e inferior en zona de ábacos
- Fisuras paralelas a la línea de rotura de los forjados
- Desplome de pilares
- Fisuras helicoidales en los zunchos de borde
- Incremento de apertura de las junta de dilatación



Fig. 3. Izquierda: Inclinación de los forjados provocado por el derrumbe.



Derecha. Forjado colgado por la armadura.



Se han detectados también daños en los voladizos de conexión del módulo C con el D. Estos daños han sido producidos por una parte, por el derrumbamiento de los forjados del modulo D sobre este y por otra, por la onda expansiva de la explosión que ha provocado una inversión de momentos en el forjado

La magnitud de las cargas ascendente provocada por la onda expansiva, depende de la proximidad a la bomba, siendo mayores en las plantas 1ª, 2ª y 3ª. En estos forjados se aprecian fisuras de flexión en la cara inferior de la losa, sobre todo en las proximidades de los pilares. En las plantas cuarta y cubierta no se han apreciado fisuras significativas.

La escalera y el núcleo de ascensores del lado terminal, quedaron gravemente dañados por la onda expansiva y por el incendio que se produjo a continuación, y fue necesaria su completa demolición.

En cuanto a las rampas de acceso de vehículos y las escaleras metálicas adyacentes a ella, no sufrieron daños estructurales y por tanto no fue necesaria su demolición.

El tiro horizontal que provocó el derrumbe del aparcamiento, produjo un aumento de la apertura de los conectadores de conexión con los módulos C y E y con las rampas de acceso.

Una vez retirados los escombros se revisó el estado de la solera y no se apreciaron desperfectos significativos, por lo que se decidió su conservación.

También se realizó una inspección meticulosa de la pasarela de conexión con el edificio terminal. Esta pasarela recoge el tráfico peatonal de todos los módulos de aparcamientos y mediante dos pasarelas perpendiculares (a ambos lados del modulo D), los conducen a la terminal. El punto crítico de esta pasarela son los arranques de sus pilares en V. De las pasarelas solo se encontraron desperfectos menores en algunos perfiles de la cubierta.



*Fig. 4. Izquierda: Rotura por nervio del reticular*



*Derecha. Detalle de zuncho de borde*



*Fig. 5. Izquierda: Estado de la estructura de ascensor*



*Derecha. Rotura de forjado*

#### 4. Demolición.

Tras diversos informes realizados por Fhecor Ingenieros Consultores y por INTEMAC, se decide la demolición de todos los pilares y forjados del módulo D. Buena parte de ellos ya se encontraban en el suelo y solo es necesario su corte y transporte a vertedero. Para los elementos que continuaban en pie, se emplearon pinzas y martillos hidraulicos, que trituraban el hormigón armado, y evitando en la medida de lo posible empujes horizontales, que pudieran dañar a la estructura existente.

La solera y la cimentación de los pilares no se encontraban afectadas, por lo que se opto por una reparación de la primera mediante mortero y rexina y la conservación de la segunda.

Para facilitar la reconstrucción de la estructura, se respetaron la armadura del primer tramo de los pilares que se mantubieron en pie. Para ello fue necesaria la demolición del hormigón de este primer tramo con un martillo de menor dimensión, que permitía introducir su cabeza entre las armaduras sin dañalas, y de esta forma triturar el hormigón central.

Se detectaron fisuras en los arranque de los pilares, por lo que su demolición fue necesario realizarla hasta la cara superior de la zapata, rompiendo por tanto la zona de solera colindante.

En los pilares derruidos o cortados durante las labores de desescombro, fue necesario el picado de la zona comprendida entre la cara superior de la zapata y la cara superior de la solera. De esta forma se descubría la armadura y se podía realizar el empalme de estas con las nuevas esperas.



*Fig. 6. Izquierda: Demolición de los forjados*



*Derecha. Picado de primer tramo de pilares*

El nucleo vertical de ascensores y las escaleras metálicas del lado terminal resultaron muy afectadas y fue necesario su demolición. Esta, al tratarse de estructura metálica, se realizo debilitando la sección de arranque y tumbandola sobre suelo. Una vez en posición horizontal se troceo para su transporte a vertedero.

En cambio las escalera metálicas del lado contrario no fue necesario su demolición. Estas escaleras están apoyadas en dos pilares centrales y se conectan a los forjados en cada planta, confiriendoles estos la estabilidad horizontal. Como los forjados tuvieron que ser demolidos, para minimizar los empujes horizontales sobre las escaleres, se retiraron todos los elementos verticales sobre los que podía soplar el viento.

Las rampas de acceso de vehiculos tampoco sufieron daños, pero las mesetas de conexión con el aparcamiento se apoya en él mediante pasadores. Para mantenerlas fue por tanto necesario el apuntalamiento de estas mesetas desde cimentación hasta cubierta.

Como se comentó anteriormente, los daños producidos en el módulo C hizo necesaria la demolición la primera crujía de una parte de los forjados, la comprendida entre las alineaciones PC y PG en los niveles de planta primera, segunda y tercera. Las plantas cuarta y cubierta no presentaron patologías, por lo que podian haberse conservados; pero por motivos de ejecución (habría que mantener los pilares y arriostrarlos hasta que se reconstruyeran los forjados), se opto por demoler todas las plantas.



Durante los trabajos de demolición de la cubierta, se produjo la caída inesperada de dicho forjado sobre el forjado de planta cuarta, provocando una serie de fisuras en torno a los pilares de las alineaciones PE y PF. Por ello se decide la ampliación de la zona de forjado a demoler hasta la siguiente alineación para esta planta, dejando en este caso los pilares provisionalmente con doble altura.

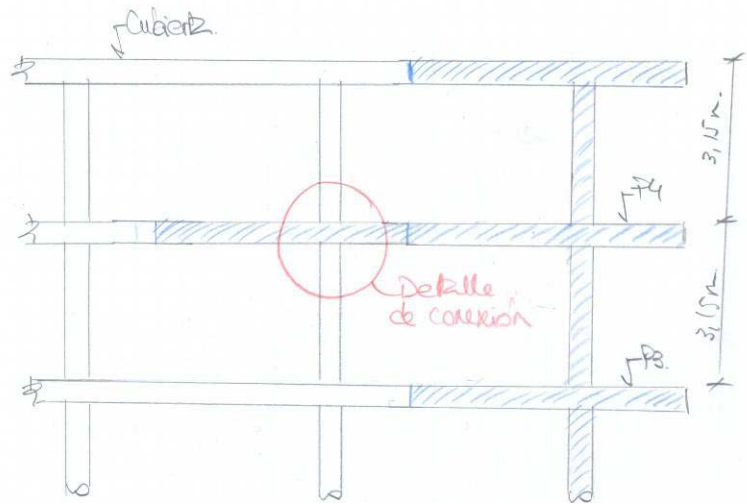
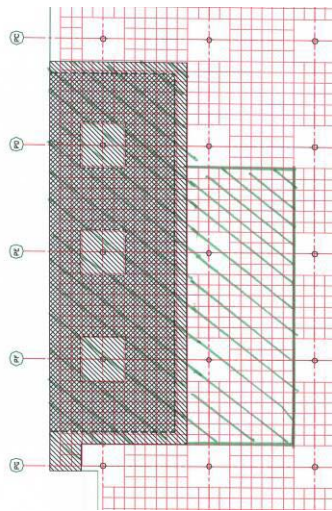


Fig. 7. Izquierda: Zona a demoler en planta 4 del modulo C

Derecha. Sección esquemática de demolición Módulo C

A continuación se describen los pasos a seguidos para la demolición de esta zona.

1. Apuntalamiento del forjado de planta 4 y cubierta.
2. Corte con disco del forjado de planta cubierta dejando un resguardo de al menos 40 cm que se demolerá a mano.
3. Demolición de la planta de cubierta mediante medios mecánicos colocados sobre la propia losa.
4. Demolición de los pilares entre planta 4 y cubierta.
5. Demolición de 40 cm perimetrales de forjado de cubierta mediante medios mecánicos hasta dejar descubierta la armadura superior, inferior y el mallazo.
6. Apuntalamiento de planta 3 de forjado.
7. Se repite el mismo proceso para plantas inferiores hasta llegar a la cimentación.



Fig. 8. Izquierda: Zona a demolida del modulo C

Derecha. Pilares de doble altura en situación provisional del M - C.

La demolición de la planta cuarta se continuo hasta la crujía siguiente, según el esquema indicado en la figura 7, respetando los pilares afectados de tal manera que éstos quedaron durante la fase de construcción con doble altura. Para garantizar la conexión el nuevo forjado con el pilar existente se pico el recubrimiento de este en la zona de intersección y se respetaron todas las armaduras que pasantes del pilar en ambas caras.

Del modulo E solo se vieron afectados los pasadores de conexión de la junta de dilatación, que fueron retirados y sustituidos por unos nuevos.

Cabe señalar que toda el hormigón demolido ha sido triturado y reciclada como arido en una planta que se coloco es proceso en las cercanias.

## 5. Reconstrucción.

Mientras se realizaban las labores de demolición, se emprende la redacción del nuevo proyecto de estructura con las premisas de respetar al máximo el proyecto inicial, sin realizar ningún cambio de estética y en la medida de lo posible minimizando los plazos de ejecución.

Estos plazos estaban fuertemente condicionados por la posibilidad de mantener la solera y la cimentación existente. Exteriormente la solera presentaba buen aspecto detectándose únicamente desperfectos superficiales en las zonas más próximas a la explosión.

En cuanto a la cimentación se tenían dudas de que pudieran existir fisuras en su cara inferior, producidas por el incremento de cargas debidas al derrumbe de los forjados uno sobre otros (suma de carga estática más dinámica). Para levantar esta incertidumbre se decide desenterrar una zapatas y darle la vuelta para poder observar los posibles daños.

Tras realizar esta operación se descarta los daños en cimentación y se empieza a analizar la conexión de esta con los pilares, en las zonas en que estos han sido cortados a ras de solera.

Se pueden diferenciar tres casos diferentes de esperas de pilares:

1. Pilares que se mantuvieron en pie y se han demolido manteniendo las esperas: Esta es una situación análoga a la del proyecto original.
2. Pilares de Ø 50 con esperas cortadas a ras de solera: En estos caso la zapata se encontraba 0.50 m de la cara superior de la solera.
3. Pilares de Ø 60 con esperas cortadas a ras de solera: Estos pilares son los más próximos a la junta de dilatación y están fuertemente armados, pero para darles mayor flexibilidad tienen la zapata a mayor profundidad, y tenemos por tanto 1.30 m desde cara superior de solera a cara superior de zapata.



*Fig. 9. Izquierda: Cara Inferior de zapata.*



*Derecha. Estado de esperas de pilares cortados a nivel de solera*

Para los casos 2 y 3, que son aproximadamente el 70 % de los pilares, se decide mejorar la calidad del hormigón a HA 60, para eliminar la existencia de armaduras comprimidas, de tal manera que podremos prescindir de la armadura dispuesta en el proyecto original como armadura de compresión, dimensionándose la armadura únicamente para los esfuerzos de flexión debidos a la retracción y a la temperatura, con el axil mínimo de cálculo

Con estos criterios, se ha procedido a dimensionar uno a uno el arranque de cada pilar cortado, ajustando la armadura necesaria que se unirá mediante manguitos a las esperas existentes. También se han dimensionado de forma individualizada la armadura necesaria en la cabeza del pilar y en el arranque del siguiente tramo, resultado en algunos casos condicionante. En estos casos, aunque se solapa en el arranque toda la armadura solo se colocaron manguitos en las barras que por dimensionamiento eran necesaria en el arranque, ya que existía un importante problema de espacio.

Adicionalmente, y por facilidad constructiva, se analizo la viabilidad de solapar las esperas existentes con las armaduras propias de los pilares, en una longitud de 50 cm, 130 cm según el caso, y sin necesidad de manguito; teniendo en cuenta la relación entre la armadura necesaria y la dispuesta.

Finalmente y también por motivos constructivos se decidió emplear HA-60 en todos los primeros tramos de pilares, de esta forma se garantizaba la uniformidad de color y se evitan posibles errores de ejecución.

La ejecución de los forjados y del resto de tramos de pilares se hizo fielmente al proyecto original; al igual que el núcleo de ascensores y de escaleras de emergencia.

Para la reposición de los conectadores de juntas de dilatación al centro de vano, se tuvo que tomar medidas especiales para evitar que un modulo cargara sobre el otro. Este tipo de juntas se dimensionan trabajando el forjado como ménsula y los conectadores solo funcionan para compatibilizar deformaciones entre los dos módulos. Por tanto, es necesario que los nuevos forjados tomen las deformaciones de peso propio y carga muerta antes de conectarlos con el otro módulo. Para ello se decido hormigón los forjados con un cajeado para los conectadores que se hormigonarian en segunda fase una vez se ha deformado el forjado.



*Fig. 10. Izquierda: Reparación de la solera.*



*Derecha. Cajeado para hormigonado en 2 fase de conectadores*

El aparcamiento fue inaugurado y puesto en servicio en Septiembre de 2007.